

Klinische Anforderungen an die Bildgebung der Aorta

**D. Böckler, Alexander Hyhlik-Dürr, H. von Tengg-Kobligk, R. Lopez-Benitez,
H.-U. Kauczor, K. Klemm**

Angaben zur Veröffentlichung / Publication details:

Böckler, D., Alexander Hyhlik-Dürr, H. von Tengg-Kobligk, R. Lopez-Benitez, H.-U. Kauczor, and K. Klemm. 2007. "Klinische Anforderungen an die Bildgebung der Aorta." *Der Radiologe* 47 (11): 962–73. <https://doi.org/10.1007/s00117-007-1588-3>.

Nutzungsbedingungen / Terms of use:

licgercopyright



D. Böckler¹ · A. Hyhlik-Dürr¹ · H. von Tengg-Kobligk² · R. Lopez-Benitez³ ·

H.-U. Kauczor² · K. Klemm¹

¹ Klinik für Gefäßchirurgie, Vaskuläre und Endovaskuläre Chirurgie, Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg

² Abteilung Radiologie, Deutsches Krebsforschungszentrum (DKFZ), Heidelberg

³ Abteilung Radiodiagnostik, Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg

Klinische Anforderungen an die Bildgebung der Aorta

Die Bildgebung aortalen Pathologien ist für den Kliniker aus mehreren Gründen von großer Bedeutung. Anforderungen an die Bildgebung beinhalten die Verifizierung und Dokumentation einer klinischen Verdachtsdiagnose und stellen die Grundlage für die Indikationsstellung, Wahl des Therapieverfahrens (konservativ, operativ, interventionell), präoperative Planung (v. a. vor endovaskulärer Therapie) und für die lebenslange Nachsorge nach konventionellen und endovaskulären Operationen dar. Neben der B-Mode-Sonographie, Duplexsonographie und der transösophagealen Echokardiographie (TEE) spielen mittlerweile die kontrastmittelunterstützten Schnittbildverfahren, die computertomographische Angiographie (CTA) und die Magnetresonanzangiographie (MRA) eine entscheidende Rolle [1, 2]. Der folgende Übersichtsartikel beschreibt aus Sicht des Therapeuten in einer Klinik der Maximalversorgung die Wertigkeit und Anforderungen an die einzelnen Modalitäten unter Berücksichtigung verschiedener Aortenpathologien.

Das abdominelle (infrarenale) Aortenaneurysma (AAA)

Die Indikation zu einer Behandlung eines abdominalen infrarenalen Aortenaneurysmas (AAA) orientiert sich an der Nutzen-Risiko-Abwägung im Vergleich zum Spontanverlauf mit assoziiertem Ruptur-

risiko. Dieses wiederum leitet sich gemäß dem Laplace-Gesetz vom AAA-Durchmesser und dem arteriellen Blutdruck ab. Im Sinne der Rupturprävention wird in Deutschland ab einem maximalen Querdurchmesser über 5 cm und in angelsächsischen Ländern ab 5,5 cm die Indikation zur Operation gestellt. Der „UK Small AAA (abdominal aortic aneurysm) Trial“ und die „ADAM-Studie“ konnten belegen, dass die Chirurgie bei einem jährlichen Rupturrisiko von 1% für kleine Aneurysmen zwischen 4 und 5,5 cm keinen Vorteil bietet [3, 4]. Mit zunehmendem Durchmesser steigt das Risiko exponentiell an. Der weitere Krankheitsverlauf eines Patienten mit AAA hängt somit von seiner Lebenserwartung (Begleiterkrankungen), dem Rupturrisiko und der Expansionsrate ab. Somit ist die Bildgebung in diesem Zusammenhang für die Diagnosesicherung und Wiedergabe der Aneurysmamorphologie wichtig.

Sonographie als prä- und postoperatives Screening

Die B-Mode-Sonographie stellt eine einfache, beliebig wiederholbare, zuverlässige und kostengünstige Suchmethode im Sinne des „Screenings“ dar. Belegt wurde dies durch die „Multicentre Aneurysm Screening Study (MASS)“ [5], der zur Folge die rupturbedingte Todesrate um 42% gegenüber der nicht regelmäßig mit Ultraschall kontrollierten Gruppe gesenkt werden konnte. Zwei weitere Studien, die „Aneurysm-detection-and-management-(ADAM-)Studie“ („Veterans Affairs Co-

operative Study Group“) [6] und der „UK Small Aneurysm Trial“ [3] konnten aufzeigen, dass kleine Aneurysmen bis zu einem Durchmesser von 5,5 cm sicher sonographisch kontrolliert werden können, um dann die Indikation zur elektiven Rekonstruktion zu stellen. Insgesamt konnte in 6 prospektiven Studien [7] belegt werden, dass Ultraschallscreening und elektive Aneurysmachirurgie gemeinsam die aneurysmabedingte Mortalität senken können.

Eine Konsensuskonferenz [7] gab im Januar 2004 die Empfehlung heraus, dass folgende Patientenkolonien eine einmalige Ultraschallbasisuntersuchung erhalten sollten (■ Tab. 1).

Zum Zeitintervall weiterer Kontrollsonographien wurde unabhängig vom Alter folgende Empfehlung herausgegeben (■ Tab. 2).

Patienten, die für eine operative Intervention jeglicher Art wegen erhöhtem Narkose- und Operationsrisiko nicht in Frage kommen, sollten nicht untersucht werden.

Bei sonographischem Verdacht auf AAA schließen sich zwingend die Computertomographie (CT) oder Magnetresonanztomographie (MRT) an. Auch zur Nachsorge endovaskulär behandelter Patienten ist die Sonographie der CT bzw. MRT unterlegen [8].

Farbkodierte Duplexsonographie (FKDS)

Der Schwerpunkt der farbkodierten Duplexsonographie in der endovaskulären

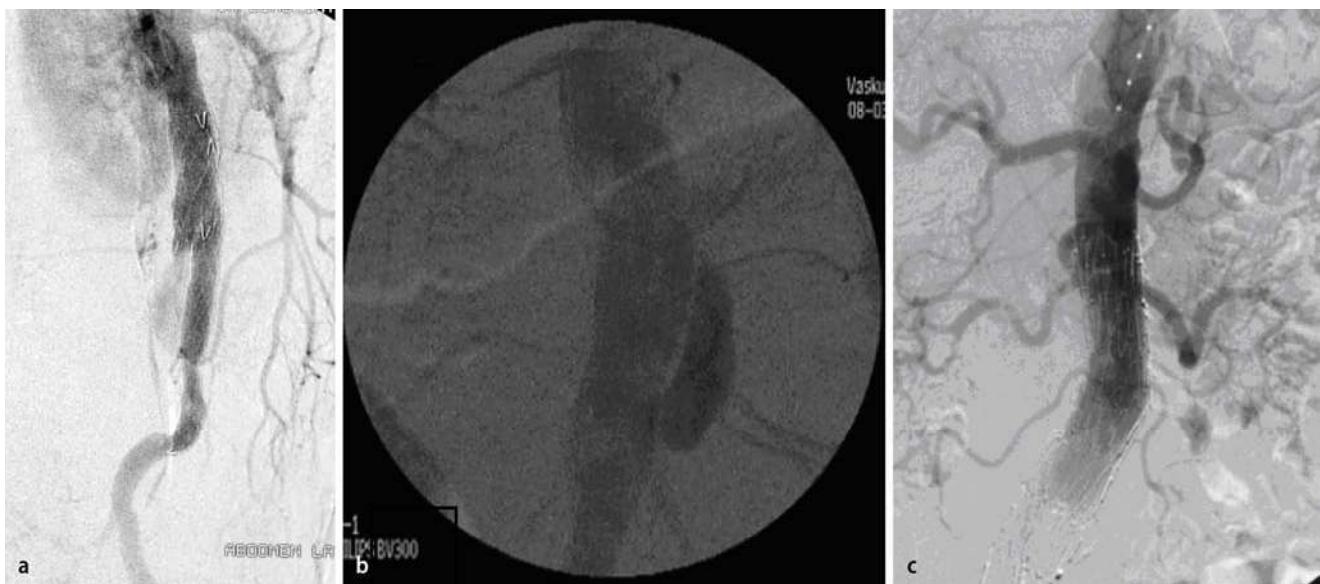


Abb. 1 ▲ Intraoperative Übersichtsangiographien verifizieren Komplikationen wie z. B. Schenkelstenosen bzw. -verschlüsse (a), proximale Endoleckagen (b); normale Nierenperfusion nach suprarenaler Fixierung (c)

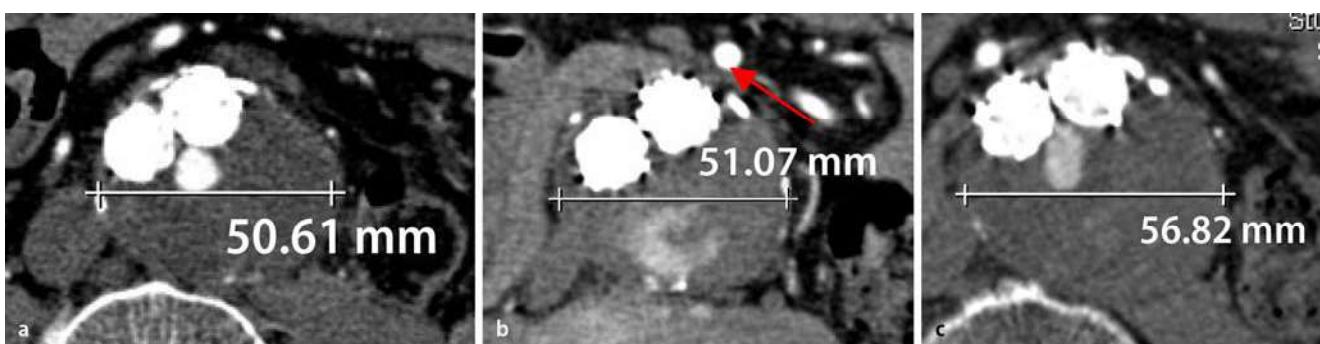


Abb. 2 ▲ Ein 62-jähriger Patient mit infrarenalem AAA-Typ IIa, maximaler Durchmesser 5,0 cm, versorgt mit einer Bifurkationsendoprothese (LifePath). Die CTA-Kontrollen zeigen bei bekannter und persistierender Seitenastleckage und perfundierter A. mesenterica inferior (roter Pfeil) eine Größenzunahme des AAA über 2 Jahre von 5,0 auf 5,7 cm. a 6, b 12, c 18 Monate postoperativ

Aneurysmachirurgie liegt v. a. in der postoperativen Überwachung und Detektion von prozedurassoziierten Komplikationen. Entscheidende Zielgrößen sind Aneurysmasackdurchmesser im Verlauf, Durchgängigkeit des Endoprothesenhauptkörpers sowie der -schenkel und die Detektion von Endoleckagen. Raman et al. [9] konnten in einer retrospektiven Studie zwar eine hohe Spezifität von 96%, aber eine geringere Sensitivität (42,9%) und ebenso einen niedrigeren positiven Vorhersagewert (53,9%) von Endoleckagen für die FKDS aufzeigen. Auch der Einsatz von Ultraschallkontrastmitteln konnte trotz besserer Bildkontrastierung die Sensitivität der Untersuchungsmethode nicht signifikant erhöhen [10, 11].

Digitale Subtraktionsangiographie (DSA)

Während für die konventionelle Chirurgie die DSA als diagnostische Maßnahme den Standard darstellte, ist für die endovaskuläre Therapie die Angiographie als alleinige Untersuchung unzureichend. Die Überprüfung der Verfahrenswahl, die Selektion von Patient und Prothese, die präoperative Planung der Operationsstrategie und letztlich die Kontrolle des Therapieerfolgs und Detektion verfahrensspezifischer Komplikationen erfordern hochauflösende CT-Datensätze mit der Möglichkeit der Bildnachverarbeitung. Die CT-Angiographie (CTA) hat neben dem Vorteil der dreidimensionalen Rekonstruktionsmöglichkeit die Möglichkeit, die Gefäßwand, wandständi-

ge Thromben, Kalkplaques, inflammatorische Komponenten und periaortale Prozesse zu beurteilen. Die Domäne der DSA liegt in der intraoperativen Navigierung, in der Markierung der Verankerungszonen und letztlich in der Abschlussbildung im Sinne der Dokumentations- und Qualitätskontrolle. Hierbei werden nach erfolgreicher infrarenaler Platzierung bei AAA etwaige Endoleckagen und Nierenarterienverlegungen nachgewiesen, ausgeschlossen und ggf. simultan therapiert (Abb. 1).

Eine wichtige Rolle behält die DSA beim Komplikationsmanagement von Endoleckagen während des follow-up. Dies wird in Abb. 2 und 3 verdeutlicht.

Im thorakalen Abschnitt bzw. Aortenbogen werden vor der endgültigen Platzierung angiographisch die Abgänge der

Tab. 1 Sonographie der abdominellen Aorta
Alle Männer zwischen 60 und 85 Jahren
Frauen im Alter zwischen 60 und 85 Jahren mit kardiovaskulären Risikofaktoren
Männer und Frauen älter als 50 Jahre mit positiver Familienanamnese bzgl. eines AAA

Tab. 2 Zeitintervall zur Kontrollsonographie bei AAA
Aortendurchmesser kleiner als 3 cm, keine weiteren Untersuchungen
AAA von 3–4 cm Durchmesser: Sonographie jährlich
AAA von 4–4,5 cm Durchmesser: Sonographie alle 6 Monate
AAA größer als 4,5 cm Durchmesser: Überweisung an den Gefäßtherapeuten

supraaortalen Äste identifiziert und die proximale Verankerungszone am Monitor des C-Bogens markiert. Entscheidend ist hierbei der Parallaxenausgleich zur optimalen Einstellung des Aortenbogens, der in ca. 45° zur Sagitalebene nach links („left anterior oblique, LAO“) gekippt ist. Bei Patienten mit kompensierter Niereninsuffizienz, bekannter Allergie auf jodhaltiges Kontrastmittel oder hyperthyreotischer Stoffwechsellage sind eine intraoperative Darstellung der Landungszonen sowie die Abschlussangiographie mit Kohlenstoffdioxid (CO₂) möglich [12].

Computertomographie-Angiographie (CTA)

Neben der Diagnosestellung per se stellt die Morphologie infrarenaler Aortenaneurysmen ein wichtiges Selektionskriterium dar. Allenberg et al. [13] und Schumacher et al. [14] haben hierzu anhand einer morphometrischen prospektiven CT-Analyse ein therapieorientiertes Klassifikationssystem entwickelt, das eine präoperative Aussage über die Anwendbarkeit von Endografts im aortoiliakalen Abschnitt erlaubt (Abb. 4). Die Technologie der CTA hat sich im letzten Jahrzehnt dramatisch verbessert. Sie stellt mittlerweile das wesentliche Rückgrat der präoperativen Evaluation aortaler Pathologien dar. Die Bildgebung spielt im Rahmen der endovaskulären Therapie aortaler Läsionen somit eine entscheidende Rolle.

Unter Anwendung dieser Klassifikation stehen in der infrarenalen endovas-

D. Böckler · A. Hylik-Dürr · H. von Tengg-Kobligk · R. Lopez-Benitez · H.-U. Kauczor · K. Klemm
Klinische Anforderungen an die Bildgebung der Aorta

Zusammenfassung

Die moderne Bildgebung, insbesondere die nichtinvasive Schnittbildgebung, hat sich in den letzten Jahren dramatisch weiterentwickelt und stellt mittlerweile die Basis für die prä- und postoperative Diagnostik aortaler Pathologien dar. Insbesondere die Planung, aber auch die Nachsorge endovaskulärer Aortenrekonstruktionen stellen sehr hohe Anforderungen an den Diagnostiker und Therapeuten. Aus der Vielzahl der bestehenden diagnostischen Modalitäten gilt es, die für die jeweilige Pathologie geeignete Untersuchungsmethode auszuwählen und für den Patienten individuell anzuwenden. Die Sonographie ist für das Screening und die Nachsorge infrarenaler Aneurysmen die Untersuchung der Wahl. Die transösophageale Echokardiographie und MR-Angiographie (MRA) werden mit hoher Sensitivität und Spezifität bei der Diagnostik, der intraoperativen Navigation von Endografts und im follow-up konservativ behandelter Patienten mit Aortenbogenaneurysmen und Aortendissektionen ein-

gesetzt. Die Verwendung der MRA ist jedoch durch lange Untersuchungszeiten, Metallarteakte und limitierte Verfügbarkeit begrenzt. Die digitale Subtraktionsangiographie (DSA) hat ihre Rolle in der Diagnostik der Aorthenpathologien gegenüber der CTA eingebüßt, behält aber derzeit ihre Domäne bei der intraoperativen Darstellung der Verankerungszonen von Endoprothesen. Der selektive Nachweis postoperativer Endoleckagen mit anschließender therapeutischer Embolisation ist ein weiteres Einsatzgebiet der DSA. Die CT-Angiographie (CTA) inklusive der sog. Bildnachverarbeitung („image postprocessing“) haben die Führungsrolle bei der Bildgebung der Aorta übernommen. Krankheitsspezifische diagnostische Algorithmen sind im klinischen Alltag sinnvoll und notwendig.

Schlüsselwörter

Aorta · Aneurysma · Dissektion · Endovaskulär · Computertomographie (CT)

Clinical requirements of aortic imaging

Abstract

Modern imaging modalities, especially non-invasive cross-sectional imaging techniques, have advanced dramatically in recent years and are now the backbone of pre- and post-operative evaluation of aortic pathologies. The planning in particular, but also the aftercare following endovascular aortic reconstructions, make heavy demands on physicians. It is necessary to select the method of examination that is best suited to the pathology concerned and to apply it to the patient in an individual manner. Ultrasound is the examination of choice for screening and follow-up of infrarenal aneurysms. Transesophageal echocardiography and magnetic resonance angiography are used in diagnosis, in intraoperative navigation during the implantation of endografts and in follow-up of patients with thoracic aortic aneurysms and aortic dissections who have undergone con-

servative treatment, with very high sensitivity and specificity. The use of MRA is restricted by the long time needed for an examination, metal artifacts and limited availability. DSA has been largely superseded in the diagnosis of aortic pathologies by CTA, but as yet retains its role in intraoperative imaging of the anchorage regions of endoprostheses. Selective demonstration of postoperative internal leaks with subsequent therapeutic embolization is a further area of use for DSA. CTA, including so-called image postprocessing, has taken over the prime role in imaging of the aorta. Disease-specific diagnostic algorithms are useful and necessary in day-to-day clinical practice.

Keywords

Aorta · Aneurysm · Dissection · Endovascular · Computed tomography (CT)

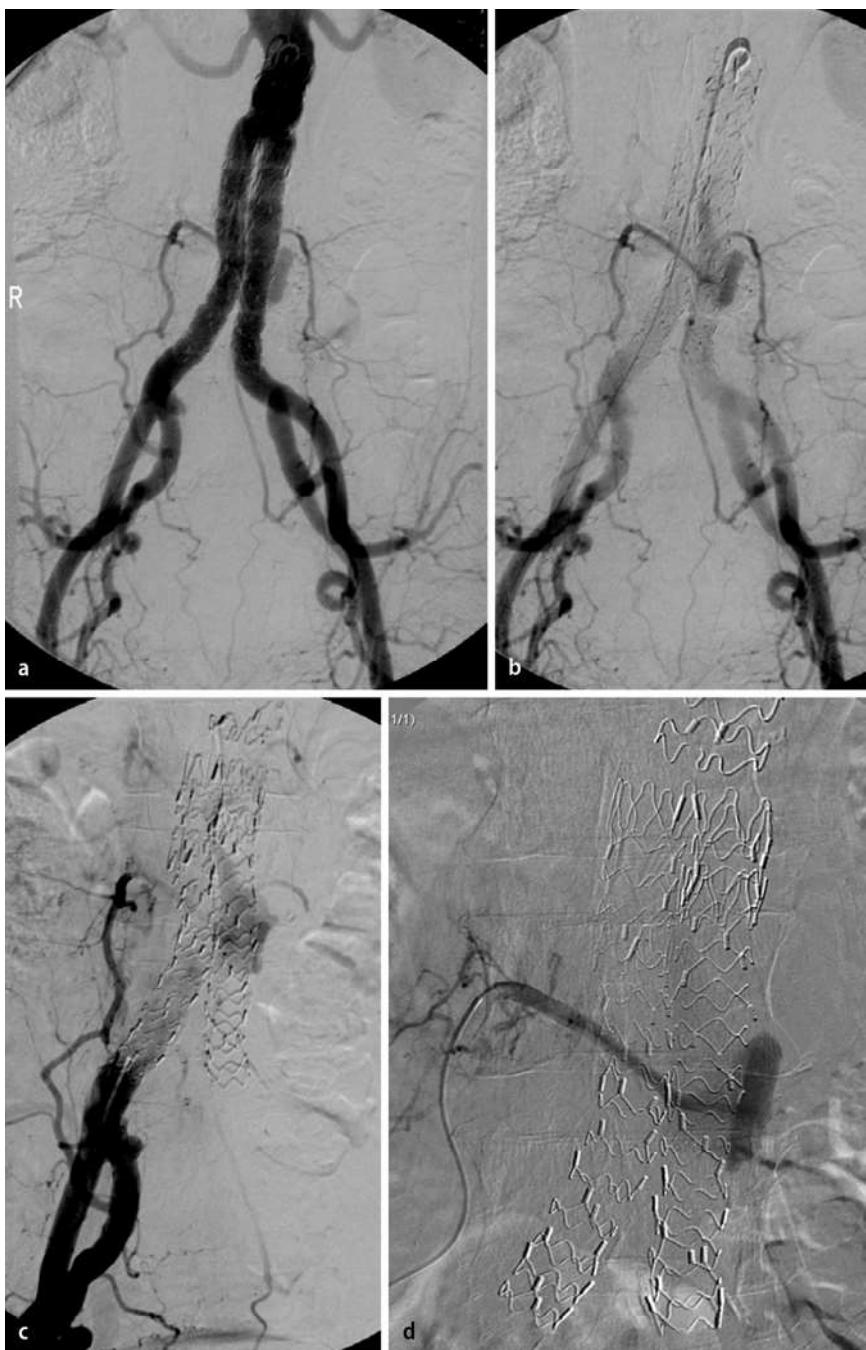


Abb. 3 ▲ Die Übersichtsangiographie zeigt in der Früh- (a) und Spätaufnahme (b) die speisenden kollateralen Lumbalarterien über die Aa. iliaca interna. Rechtsseitig erfolgen die selektive Katheterisierung (c, d) und nachfolgende Embolisation mittels Ethibloc

kulären Aortenchirurgie grundsätzlich 4 Rekonstruktionsmöglichkeiten je nach AAA-Morphologie und Risikoprofil des Patienten zur Verfügung (Abb. 5).

Die Typen I, IIA und IIB lassen sich optimal mit einer Bifurkationsendoprothese versorgen. Typ IIC ist nur dann endovaskulär zu therapieren, wenn die A. iliaca interna okkludiert wird. Das Risiko für proximale oder distale Verankerungsleckagen und für eine Darmischämie steigt da-

bei jedoch. Die zentrale Bedeutung einer suffizienten proximalen Verankerungszone für eine potenzielle Endograftimplantation kommt hier erneut zum Tragen. Wichtige Informationen sind neben dem Durchmesser und der Länge >15 mm das Vorliegen von perirenalem Kalk und Thromben. Die morphologische Klassifikation des proximalen infrarenalen Aneurysmehalses durch White et al. (die sog. Sydney-Klassifikation; Abb. 6; [15])

nimmt Einfluss auf die Beurteilung einer endovaskulären Ausschaltung. Auch hier zeigt sich eine enge Korrelation zwischen Endoleckagerate und Halsmorphologie.

In Abb. 7 sind exemplarisch 3 unterschiedliche Aneurysmamorphologien unter Berücksichtigung der potentiellen Eignung für eine endoluminale Therapie dargestellt. Links ist die ideale Morphologie zur endovaskulären Aneurysmaausschaltung gezeigt, die mittlere Abbildung zeigt zwar einen langen, aber stark angulierten Hals und torquierte Iliakalgefäß: Diese Morphologie ist bei Patienten mit hohem Risiko für die offene Operation oder bei Ruptur mit Endografts mit suprarenaler Fixierung minimalinvasiv versorgbar. Rechts abgebildet ist ein AAA Typ IIC mit teilthrombosiertem, kurzem, weitem Hals und stellt damit eine Grenzindikation für eine endovaskuläre Ausschaltung dar.

Morphologisch waren in einer Analyse der Heidelberger Patientengruppe (n=242) durch Schumacher et al. [16] im Jahre 1997 anhand dieser morphologischen Kriterien nur 51,7% als Kandidaten für eine endovaskuläre Therapie geeignet. Unter zusätzlicher Berücksichtigung von Patientenalter, Komorbidität, erforderlicher Compliance und verfügbaren Stentgraftsystemen war nur jeder dritte Patient als geeignet einzuschätzen (30,2%). Die Rolle der endovaskulären Aneurysmachirurgie bei Sonderformen des AAA, wie z. B. bei inflammatorischen Aneurysmen, ist nicht hinreichend untersucht. Über erste kasuistische Erfolge wird berichtet.

Magnetresonanzangiographie (MRA)

Die MRA stellt im Rahmen der präoperativen Diagnostik aortaler Aneurysmen und Dissektionen eine alternative Schnittbildgebung zur CTA dar. Das Gefäßlumen wird hierbei mit hohem Kontrast zur Umgebung dargestellt. Nichtperfundierte Aneurysmaanteile werden in T1- und T2-Sequenzen entsprechend minderkontrastiert. Bei jüngeren Patienten sollte in Abbruch der kumulativen Strahlendosis im Verlauf einer lebenslangen Nachsorge eine MRA angeboten werden. Hierbei gilt es aber zu beachten, dass neben anderen Faktoren das ferromagnetische Material die Homogenität des statischen Magnet-

feldes stört. Diese metallbedingten Artefakte lassen oft eine zuverlässige Interpretation der Untersuchungsergebnisse nicht zu, z. B. beim Nachweis oder Ausschluss von Endoleckagen (Abb. 8). Eine entsprechende Endograftwahl ist in Kenntnis dieser Auslöschanomene notwendig.

Thorakales Aortaneurysma (TAA)

Die moderne bzw. optimale Bildgebung der unterschiedlichen Erkrankungen im Bereich der thorakalen Aorta ist die Domäne der nichtinvasiven Verfahren, d. h. der Computertomographie (CT) und Magnetresonanztomographie (MRT), insbesondere als CTA und MRA. Die DSA hat ihre Rolle im Rahmen therapeutischer interventioneller Eingriffe, insbesondere bei der Detektion und dem Management postoperativer Komplikationen, wie Endoleckagen, verloren.

Morphologische Klassifikation der thorakalen Aortenläsionen

Eine morphologische Einteilung der thorakalen Aortenläsionen in die Typen I bis IV ist für die Operationstaktik und die zu wählende Operationstechnik sinnvoll, da die Rekonstruktionsverfahren vom erkrankten Segment determiniert werden (Abb. 9). Typ-I-Läsionen können in der Regel nicht ohne den Einsatz einer extrakorporalen Zirkulation durchgeführt werden. Bei Typ-II-Läsionen wird in der Regel der orthotope Bogenersatz im hypothermen Kreislaufstillstand mit der Herz-Lungen-Maschine vorgenommen, lediglich bei Risikopatienten besteht die Möglichkeit einer endovaskulären Hybridoperation. Typ-III- und -IV-Läsionen erfordern keine Herz-Lungen-Maschine, da keine kritische Unterbrechung der zerebralen Durchblutung stattfindet. Zur besseren Vergleichbarkeit der Ergebnisse und Planung des Operationsverfahrens kann mit der vorgenommenen Einteilung je nach morphologischer Lokalisation der thorakalen Pathologie auch die Art der notwendigen Operation (konventioneller Prothesenersatz, alleinige endovaskuläre Rekonstruktion oder notwendige Hybridoperation) geplant werden [17].

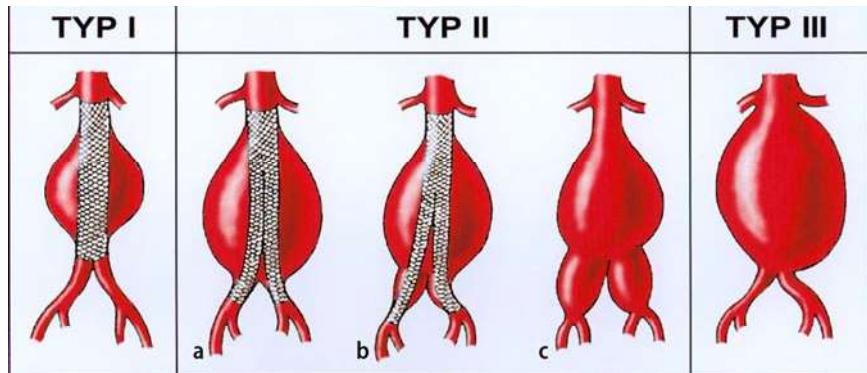


Abb. 4 ▲ Morphologische Klassifikation des AAA (Heidelberger Klassifikation nach Allenberg) zur Beurteilung einer potenziell endovaskulären Versorgung. **Typ I:** Das Aneurysma ist auf den infrarenalen Abschnitt begrenzt. Sowohl der proximale wie der distale Hals sind >15 mm lang, um eine suffiziente Verankerung zu gewährleisten. **Typ II:** Dieser Typ wird in 3 Subtypen unterteilt. Allen Untergruppen ist die proximale Halslänge >15 mm gemeinsam. Die aneurysmatische Erkrankung setzt sich unterschiedlich weit nach distal auf die Aa. iliaca communes fort. **Typ IIa:** Das AAA reicht an die Aortenbifurkation heran, die Iliakalgefäß sind nicht betroffen. **Typ IIb:** Die Ausdehnung schließt die proximalen Abschnitte der Aa. iliaca communes ein. **Typ IIc:** Die aneurysmatische Erweiterung reicht bis an die Iliakalbifurkation heran. **Typ III:** Unabhängig von der distalen Ausdehnung fehlt ein suffizienter proximaler Hals

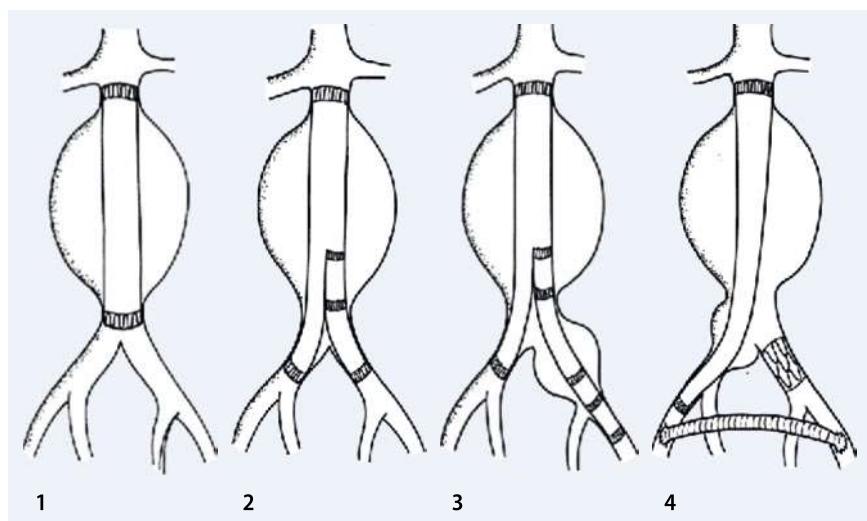


Abb. 5 ▲ Endovaskuläre Rekonstruktionsmöglichkeiten. 1 Rohrendoprothese bei AAA Typ I, mittlerweile verlassen, stattdessen Bifurkationsendoprothese; 2 modulare Bifurkationsendoprothese bei AAA Typ IIA und B; 3 Bifurkationsendoprothese mit unilateraler iliakaler Verlängerung bei einseitiger aneurysmatischer Beckenarterienbeteiligung; 4 aortomonoiliakale Endoprothese, kontralaterale Okklusion mit Endosocke, Revaskularisation durch femorofemorale Cross-over-Bypass (besonders geeignet für Notfall/Ruptur)

Röntgen-Thorax-Bild

Das konventionelle Röntgenbild kann richtungsweisend sein, jedoch zeigen 17% der Patienten mit Aneurysmen oder Dissektionen im CT keine pathologischen Veränderungen auf der Übersichtsaufnahme.

Computertomographie-Angiographie (CTA)

Das CTA liefert entscheidende Informationen über Größe, Lokalisation und Ausdehnung der Erkrankung. Es ist von besonderer Bedeutung zur Dokumentation der Expansionsrate von Aneurysmen, zur Bestimmung des Operationszeitpunkts bei asymptomatischen Patienten und zur postoperativen Evaluation. Durch Einsatz der multiplanaren CTA-Bildrekonstruk-

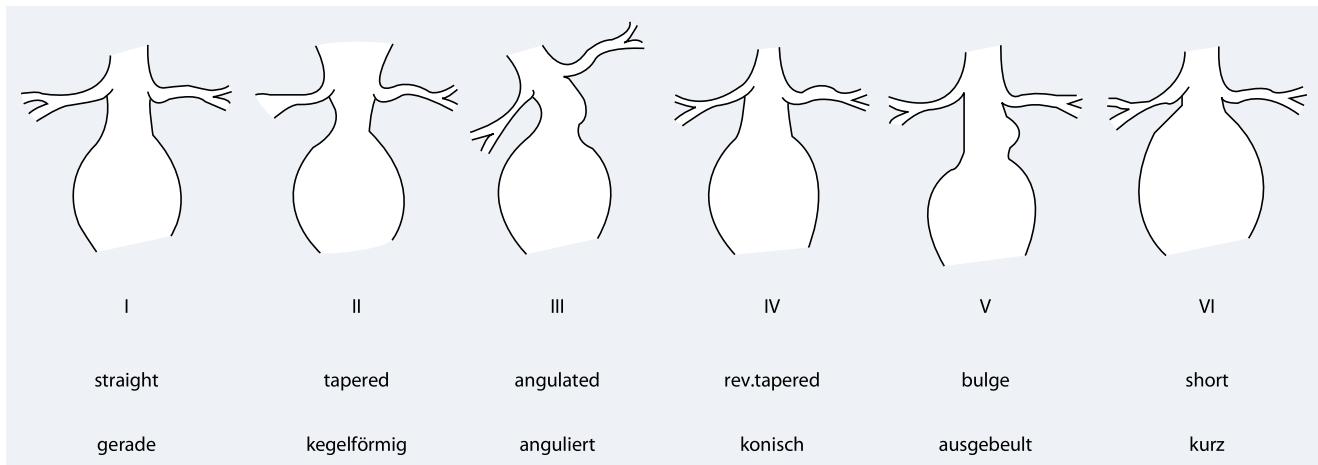


Abb. 6 ▲ Sydney-Klassifikation des proximalen Aneurysmehalses in 6 Typen. Die ideale Halskonfiguration repräsentiert lediglich Typ I

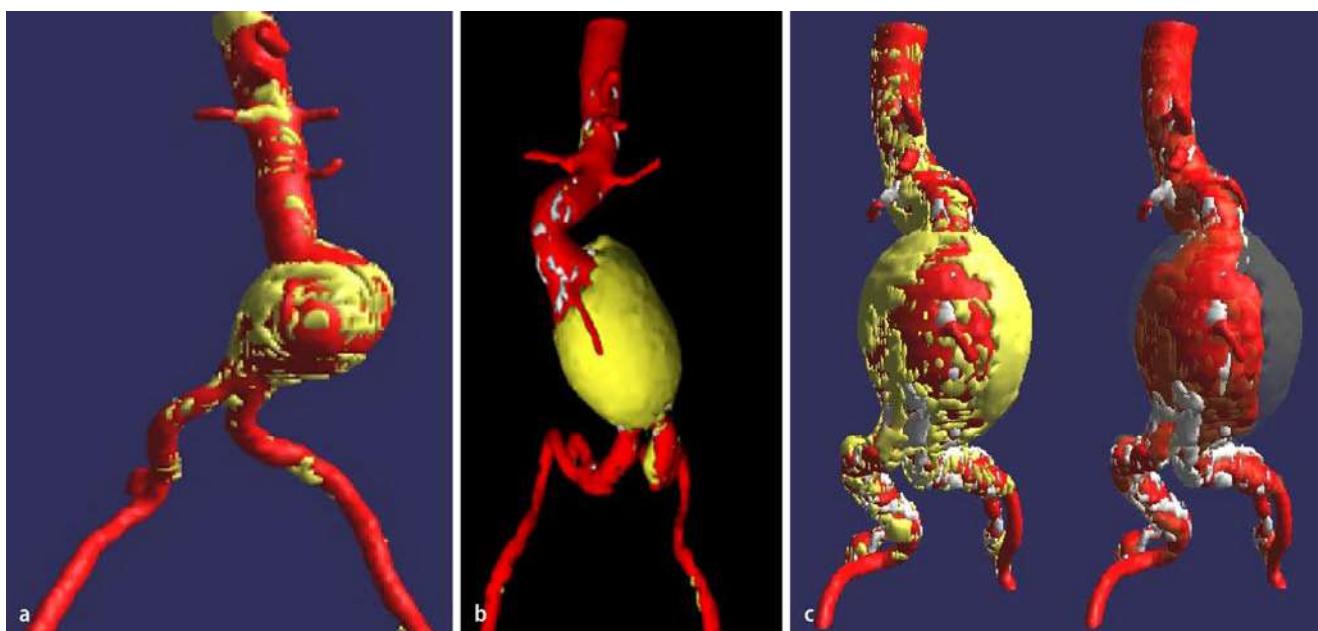


Abb. 7 ▲ 3D-CTA-Rekonstruktion eines AAA Typ I mit langem geradem Hals (a), AAA Typ II B mit anguliertem Hals (b) und AAA Typ II C mit konischem Hals (c). Gelb Thrombus, weiß Kalkplaques

tionen kann heute aber generell auf eine zusätzliche konventionelle, invasive intraarterielle Angiographie verzichtet werden. Der Vorteil der schnellen CTA oder MRA ist die Darstellung der gesamten Aorta. Dies ist erforderlich, da bis zu 25% der Patienten simultan Aneurysmen an unterschiedlichen Abschnitten der Aorta aufweisen.

Die erfolgreiche Exklusion einer thorakalen Aortenläsion durch eine Endoprothese hat als essenzielle Voraussetzung zur sicheren Fixierung der Prothese und Abdichtung der Läsion gegenüber dem Blutstrom ausreichend lange (>15 mm), proximale und distale Verankerungsbereiche,

die so genannten Landungszonen. Diese werden als Segmente der nichtdilatierten, thrombusfreien, nichtkalkifizierten Aortenwand definiert. Mittlerweile stellt die präoperative Planung des Eingriffs, insbesondere die individuelle Dimensionierung der Endoprothese, neue Anforderungen an die Bildgebung, denen zweidimensionale Schnittbilder nicht gerecht werden. Die Entscheidung eines Debranchings der supraaortalen Abgänge oder von Viszeralarterien im Rahmen von Hybridoperationen muss präoperativ getroffen werden [18, 19].

Vor bewusstem Überstenten der linken A. subclavia muss die Offenheit der

rechten A. vertebralis geprüft werden. Die A. femoralis communis muss bzgl. Durchmesser, Offenheit bzw. Verkalkung und Kinking auf ihre Eignung als endovaskuläres Zugangsgefäß im Vorfeld untersucht werden. Unter Umständen ist hier ein temporäres iliakales Conduit über einen retroperitonealen Zugang notwendig. Nur eine multiplanare Rekonstruktion aus den primär rekonstruierten Dünnschichten (CT oder MR) ermöglichen eine individuelle Visualisierung und Vermessung, um eine optimale Implantationsstrategie zu wählen und die Endoprothese individuell zu dimensionieren. Neben Durchmesser und Länge der Veran-

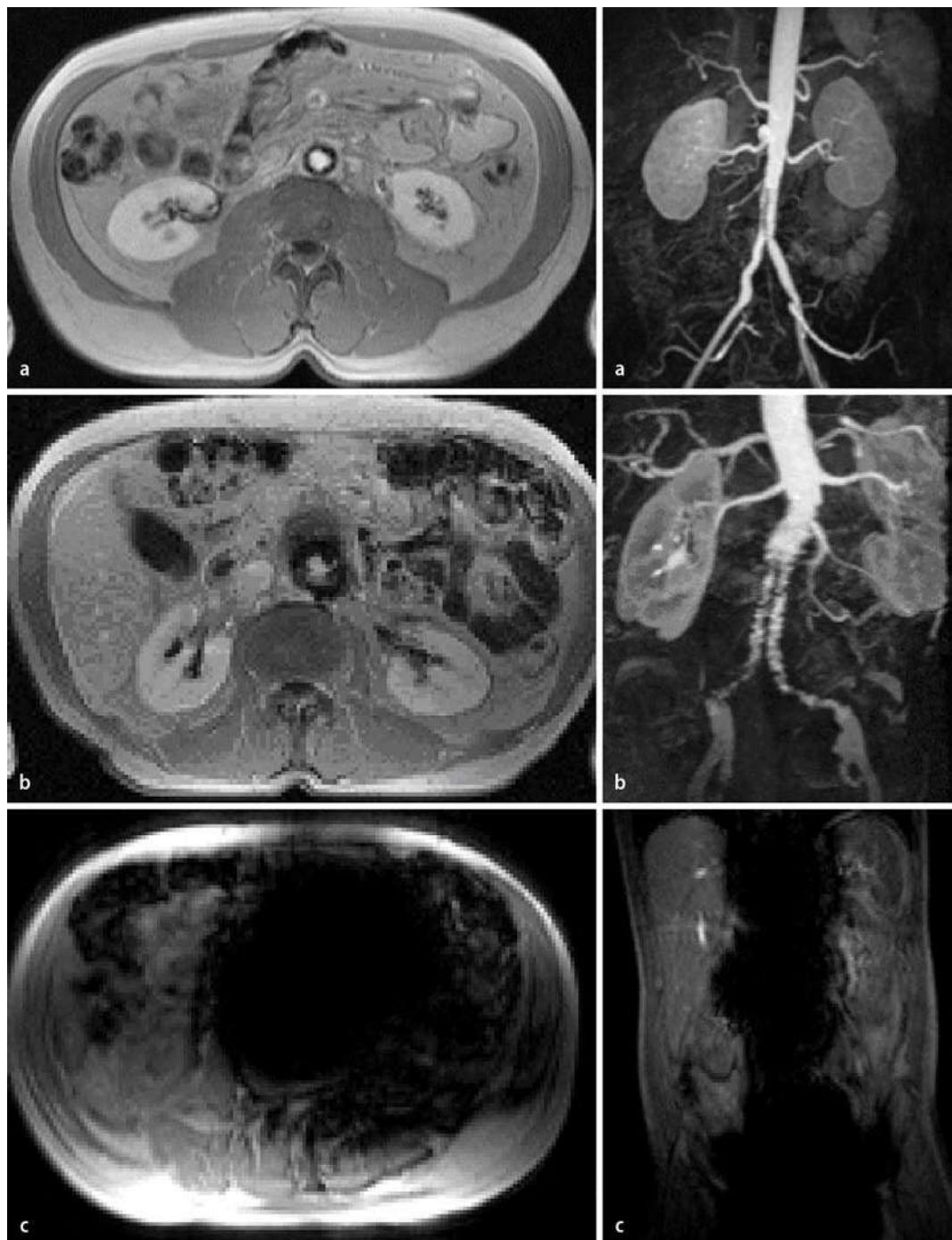


Abb. 8 ▶ Beispiele ferromagnetisch bedingter Auslösphänomene bei (a) Excluder- (W.L. Gore & Ass), (b) Lifepath- (Edwards, nicht mehr erhältlich) und (c) Zenith-Endoprothesen (Cook)

kerungszonen sind Längenausdehnung der Pathologie und relevante Interkostalarterien bzw. auch die Identifikation der A. Adamkiewicz von Bedeutung.

Derzeit ist die CTA (1–3 mm Schichtdicke) für das perioperative Management endovaskulärer Eingriffe an der thorakalen Aorta unverzichtbar und stellt bereits im Vorfeld die entscheidende Untersuchung dar.

Image postprocessing

Die Spiral-CT-Technik war die Voraussetzung für den Quantensprung von der zweidimensionalen Darstellung zur multiplanaren 3D-Rekonstruktion der Aorta. Dies ermöglichte nicht nur die Volumenmessung endovaskulär versorgter AAA im follow-up (z. B. zur häodynamischen Beurteilung von Seitenastleckagen), sondern optimierte nun auch die präoperative Diagnostik: Im Sinne einer virtuellen

Navigation kann der Therapeut die Pathomorphologie und Anatomie präoperativ visualisieren. Dabei erhält er Informationen über bestehende arteriosklerotische Veränderungen. Mit Hilfe der sog. „Centerline“, einer errechneten Linie im Mittelpunkt des durchströmten, kontrastierten Aortenlumens, werden in der festgelegten Verankerungszone im 90°-Winkel der minimale und maximale Durchmesser des Aortenlumens berechnet (Abb. 10). Diese Berechnung ermög-

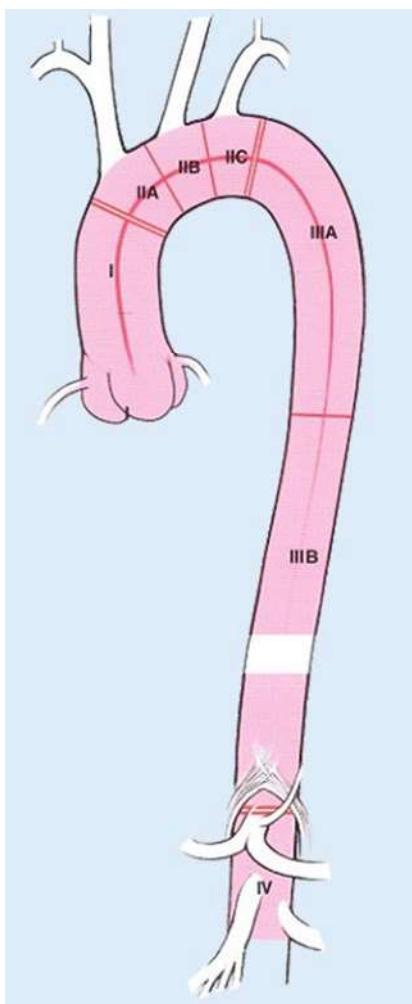


Abb. 9 ▲ Morphologische Einteilung der thorakalen Aortenläsionen Typ I bis IV

licht eine exakte Dimensionierung und Auswahl der Endoprothese, was wiederum entscheidenden Einfluss auf den Erfolg der Behandlung hat (s. Beitrag H. v. Tengg-Kobligk et al. im gleichen Heft).

Magnetresonanzangiographie (MRA)

Bei der Aortendissektion können mit dieser einzigen Untersuchung alle Informationen vergleichbar einer Kombination von Echokardiographie, CT und Angiographie zur exakten Identifikation des proximalen Entrys und der Kommunikation zwischen Falschkanal und wahren Lumen gewonnen werden. Der gegenwärtige Nachteil der MRA im Vergleich zur CTA sind längere Untersuchungszeiten, größere Kosten, Ausschluss beatmeter Intensivpatienten oder Schrittmacher- und Defibrillatorenpatienten und die Verfügbarkeit im Notfall. Artefakte ferromagnetisch wirk-

samer Endoprothesen schränken im MRT die Bildqualität und Aussagekraft von 3D-Rekonstruktionen derzeit noch ein.

Die Cine-MRT, die eine zeitaufgelöste Visualisierung z. B. der Bewegung der Dissektionsmembran während des Herzzyklus erlaubt, kann ein besseres Verständnis über Entry- und Reentrymechanismen sowie die Steifigkeit der Gefäßwand bringen. MR-Phasenkontrast-Geschwindigkeitsmessungen und Cine-MRT bei Aortendissektion sind mögliche Instrumente für die hämodynamische Charakterisierung oder Bestimmung der Gefäßwandcompliance als Parameter der Gefäßelastizität.

Aortendissektion (Stanford Typ B)

Bildgebende Maßnahmen bei Patienten mit Verdacht auf eine Aortendissektion sollten folgende Fragestellungen beantworten:

- Bestätigung der Diagnose,
- Klassifikation der Dissektion (Typ A oder B nach Stanford) je nach Lokalisation des proximalen Haupt-Entries,
- Ausmaß der Dissektion und
- Angaben über die Dringlichkeit des Notfalls (Perikardtamponade, mediastinale Einblutung oder Hämatothorax).

Der Trend von der invasiven (Aortographie) zur nichtinvasiven Diagnostik ist auch bei Dissektionen längst vollzogen. In einer internationalen Registerstudie (IRAD) an 1100 Patienten wurde nachgewiesen, dass die transthorakale und transösophageale Echokardiographie (TTE,TEE) in 33% der Fälle, die CT-Röntgenuntersuchung in 61%, die MRT-Untersuchung in 2% und angiographische Untersuchungen in 4% für die primäre Diagnosestellung herangezogen wurden. Als Zweituntersuchung wurden TTE/TEE in 56%, das CT in 18%, MRT in 9% und Angiographie in 17% herangezogen. Durchschnittlich waren 2 verschiedene Methoden notwendig, um die Diagnose einer Aortendissektion sicher zu stellen [20].

Röntgen

Ein Röntgenbild ist bei Patienten mit Verdacht auf Aortendissektion in 60–90%

auffällig. Eine Typ-A-Dissektion kann jedoch nicht selten auch beim normalen Röntgenthoraxbild vorliegen, womit die Gefahr besteht, dass tomographische weiterführende Verfahren gar nicht erst angewendet werden.

Transthorakale Echokardiographie (TTE)

Die TTE hat eine begrenzte Wertigkeit bei der Beurteilung der Aortendissektion. Wegen der schnellen Verfügbarkeit und Nichtinvasivität ist eine orientierende Abklärung der proximalen Aorta mit Ausschluss möglicher Komplikationen wie Aortenklappeninsuffizienz, Perikardtamponade und Kinetikstörungen möglich. Der distale Bereich der Aorta ascendens sowie die deszendierende Aorta können mit diesem Verfahren nicht sicher beurteilt werden.

Transösophageale Echokardiographie (TEE)

Die TEE hat den Vorteil der besseren Darstellbarkeit des Aortenbogens und der Aorta descendens. Die Aortendissektion gilt bei Nachweis einer Intimalamelle, die 2 Lumina innerhalb der Aorta trennt, als sicher. Einrisse können ebenso dargestellt werden wie auch die Unterscheidung zwischen wahren und falschem Lumen. Eine 2D-TEE kann den Intimaeinriss (Entry) in 61% der Fälle darstellen. TTE und TEE haben in der Diagnostik der Aortendissektion eine Sensitivität von 99% und eine Spezifität von 89%, einen positiv-prädiktiven Wert von 89% und einen negativ-prädiktiven Wert von 99% [21].

Zur differenzialdiagnostischen Abklärung des akuten Aortensyndroms wird die TEE v. a. von Internisten bei entsprechender Verfügbarkeit mit hoher Sensitivität und Spezifität eingesetzt. Problematisch bleibt die Differenzierung zwischen penetrierendem Aortenulkus (PAU) und dem intramuralen Hämatom (IMH).

Die Diagnose der Aortendissektion vom Typ B nach Stanford ist möglich und seit der Erstbeschreibung mittels TEE durch Erbel et al. [21] durch viele weitere Studien beschrieben worden. Dabei liegen die Sensitivitäten zwischen 86 und 100%, die Spezifitäten zwischen 90 und 100%

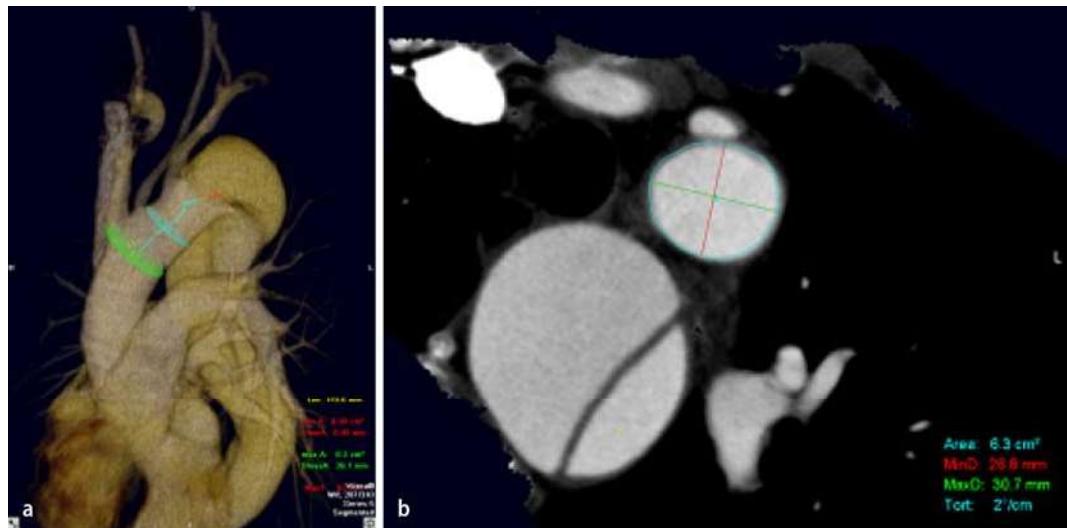


Abb. 10 ▶ a Centerline-Messung einer 3D-CT-Untersuchung bei chronisch expandierender Aortendissektion (CEAD), **b** Durchmesserbestimmung im 90°-Winkel zur Centerline (rote bzw. grüne Linie)

und negative Vorhersagewerte zwischen 86 und 100%. Die Vorteile der Methode liegen in der simultanen Beurteilbarkeit der Herzfunktion und dem Ausschluss eines Perikardergusses durch die Kombination von transthorakaler und transösophagealer Echokardiographie. Nachteilig ist die fehlende Einsicht auf das proximale Drittel der Aorta ascendens und die Abhängigkeit vom Untersucher. In der Aorta ascendens kommt es in 3,5% der Untersuchungen durch Reverberationen zu falsch-positiven Diagnosen einer Aortendissektion Stanford Typ A.

Bei der Implantation thorakaler Endoprothesen wird die TEE als Platzierungs hilfe thorakaler Endografts herangezogen. Zum einen können proximale Verankerungsleckagen diagnostiziert, zum anderen das Blutflussverhalten in beiden Dissektionslumina beurteilt werden. Rocchi et al. [22] publizierten aktuell einen TEE-unterstützten Implantationsalgorithmus zur endovaskulären Versorgung von Aortendissektionen. Die eigenen Erfahrungen an der Abteilung für Gefäßchirurgie der Universität Heidelberg sind kasuistisch und haben derzeit keinen Einfluss auf die eigene operative Strategie und intraoperative Implantationssequenz. In der großen Mehrzahl der Fälle ist die CT schnell verfügbar und kann nach standardisiertem Protokoll und mit höchster Auflösung alle Fragen klären [23]. Die TEE tritt im chirurgischen Routinealltag daher in den Hintergrund.

Computertomographie-Angiographie (CTA)

Die Diagnose beruht auf der Darstellung der intimalen Lamelle, die das wahre vom falschen Lumen trennt. Des Weiteren gibt die CTA Informationen über das Ausmaß der aortalen Beteiligung und stellt die aortalen Seitenäste dar. Die Sensitivität liegt bei 95% mit einer Spezifität von 87–100%. Nachteile liegen in der Notwendigkeit der Verwendung nephrotoxischer Kontrastmittel und dem Unvermögen, die Aortenklappeninsuffizienz quantitativ zu beurteilen.

Magnetresonanzangiographie (MRA)

Die MRA wird trotz ihrer hohen Sensitivität und Spezifität noch zu selten eingesetzt. Die Gründe für den restriktiven Einsatz liegen u. a. in der begrenzten Verfügbarkeit und patientenbezogenen Faktoren (Klaustrophobie, Herzschrittmacher, andere metallische Implantate, lange Untersuchungsdauer). Die serielle Dokumentation tomographischer Bilder der Aorta ist essentieller Bestandteil der Nachsorge von Patienten mit konservativ behandelten chronischen Dissektionen. Die Wahl des bildgebenden Verfahrens hängt im Alltag meist von der lokalen Verfügbarkeit ab. Aus strahlenhygienischen Gründen sollte bei regelmäßigen Nachuntersuchungen die MRA eingesetzt werden. Empfohlene Untersuchungsintervalle sind 1, 6, 12 Monate, danach jährlich. Auch bei nur segmental begrenzter Dissektion sollte die

gesamte Aorta im Rahmen der Nachsorge untersucht werden.

Die Effizienz der unterschiedlichen Modi in der Bildgebung von Aortendissektionen gibt □ Tab. 3 wieder, diese Daten wurden allerdings schon im Jahre 1993 publiziert.

Traumatische Aortenruptur

Die Diagnosesicherung der traumatischen Aortenruptur oder Transsektion kann schwierig sein, was durch die zunehmende verspätete Diagnosestellung alter, kalzifizierter posttraumatischer thorakaler Aortaneurysmen belegt wird. Nach der Erstversorgung im Schockraum stehen im Rahmen der Diagnostik folgende Modalitäten zur Verfügung.

Röntgen-Thorax

Die Mediastinalverbreiterung als indirektes Zeichen der Aortenruptur in der konventionellen Röntgenaufnahme des Thorax ist mit 5% falsch-negativen Ergebnissen unzuverlässig. In der Notfalldiagnostik hat die CTA die DSA als Methode der Wahl aus mehreren Gründen abgelöst, nicht zuletzt, da bei den meisten Patienten, die lebend das erstversorgende Krankenhaus erreichen, keine aktive Blutung vorliegt. Der stehende Adventitiaschlauch verhindert die letale Exsanguination.

Im Falle einer hämodynamischen Instabilität liegen wie erwähnt meist parenchymatöse Organverletzungen im Abdomen (Leber, Milz) vor, die mit einer CTA

Tab. 3 Vergleich verschiedener diagnostischer Verfahren [24]

	TEE	CT	MRT	Aortographie
Sensitivität	++	++	+++	++
Spezifität	+++	++	+++	++
Klassifikation	+++	++	++	+
Intimalamelle	+++	-	++	+
Aorteninsuffizienz	+++	-	++	++
Perikarderguss	+++	++	++	-
Seitastbefall	+	++	++	+++
Koronarbefall	++	+	+	+++

sicher diagnostiziert werden können. In diesem Falle wäre aber auch eine explorative Notfalllaparotomie zur Blutungskontrolle mittels Splenektomie, Bauchtuchpacking etc. gerechtfertigt. Im Falle eines Aortenabisses mit begleitendem Mediastinalhämatoom oder hämorrhagischem Pleurareguss sollte die simultane endovaskuläre Therapie durchgeführt werden.

Bei polytraumatisierten Patienten mit Mehrfachverletzung werden primär die lebensbedrohlichen Verletzungen versorgt. Nach initialer Stabilisierung wird einige Tage später mit aufgeschobener Dringlichkeit die Aortenverletzung operativ versorgt. Zwischenzeitlich erfolgt eine aggressive antihypertensive Therapie (systolischer RR <120 mmHg) und ggf. eine frühzeitige CTA-Kontrolluntersuchung. Letztere hängt von der hämodynamischen Stabilität des Patienten ab. Zugangsgefäße sind schockbedingt häufig vasospastisch. Die Einführschleusen der aktuellen Endografts betragen 18–24 French und setzen ein Innenlumen des Gefäßes von 6–8 mm voraus. Das Kalibermismatch kann Probleme bereiten (z. B. Dissektion, Perforation). Die Diagnosestellung einer kompletten Aortentranssektion ist wichtig, da es zu einer sog. Pseudo-Coarctatio führen kann, die die Passage des Führungsdrähts erschwert. Ein transbrachialer Zugang kann hier helfen [25, 26].

Nachsorge nach thorakaler endovaskulärer Aortenrekonstruktion (TEVAR)

Neue Methoden bringen neue Komplikationen mit sich. Endoleckagen müssen detektiert, ggf. beobachtet oder auch interventionell korrigiert werden. Durchmesser- und Volumenberechnungen, Materia-

lermüdung bei bisher unbekannten Langzeitergebnissen nach Stentgraftimplantation stehen ebenfalls im Mittelpunkt des Interesses. Unterschiedliche Methoden der Bildgebung im Rahmen der Nachsorge stehen zur Verfügung und finden entsprechend klinischen Einsatz.

Konventionelle Röntgendiagnostik

Diese ist fester Bestandteil in der Nachsorge nach endovaskulärer Stentgraftimplantation [27]. Veränderungen am Metallgerüst, sog. Stentfrakturen, können sicher und einfach diagnostiziert werden. Eine progressive Dilatation der Aorta im Bereich der proximalen Verankerungszone kann entweder eine Endoleckage oder eine Stentmigration bewirken. Stentdeformitäten und Kinking sind weitere indirekte Hinweise für eine Endoprothesenmigration. Eine Migration kann eine Materialermüdung, eine Wiederauffüllung des Aneurysmas mit Rupturgefahr und einen thrombotischen Prothesenverschluss zur Folge haben.

Die drohende Diskonnektion entsprechender Stentgraft-Bestandteile bei modularen Systemen kann und muss mittels Röntgendiagnostik festgestellt werden, da sie ebenfalls eine sekundäre Ruptur bewirken kann. Stentgrafts sind pulsatilen und repetitiven Scherkräften ausgesetzt, die wiederum vom Blutdruck, der Pulsfrequenz und morphologischen Veränderungen der Aortenwand abhängig sind. Die Zufallsdiagnose eines Stentbruchs zieht nicht zwingend eine Therapie nach sich. Bedeutung erlangt diese Beobachtung im Zusammenhang mit weiteren klinischen Symptomen oder radiologischen Befunden (z. B. Aneurysmagrößezunahme, sekundäre Endoleckage). Konventionelle Röntgenaufnahmen werden somit

auch in Zukunft eine zentrale Rolle bei der Patientennachsorge spielen. Standardisierte Aufnahmen mit Parallaxenausgleich helfen hierbei, die Befundung und Interpretation zu objektivieren.

Computertomographie

Eine Migration von Stentgrafts ist mit der CT diagnostizierbar, indem man neben den Röntgenmarkern zusätzlich feste Markierungspunkte (z. B. Wirbelkörper) als Referenzpunkte setzt. Sie unterliegen aber auch bestimmten Fehlerquellen wie z. B. Rotationsfehlern. Die virtuelle Endoskopie kann bei Gefäßerkrankungen als virtuelle Angioskopie eingesetzt werden [28]. Im Rahmen des Komplikationsmanagements nach Endograft-Implantation werden zukünftig moderne Bildgebungsmodalitäten mit anschließender Nachverarbeitung („post processing“) zusätzliche und z. T. entscheidende Informationen liefern. Viel versprechend ist diese Computersimulation als komplexe Wiedergabe hämodynamischer Flussverhältnisse bei Aortendissektionen.

Intravaskulärer Ultraschall (IVUS)

Verglichen mit der TEE wird IVUS von den meisten endovaskulär tätigen Gefäßspezialisten nicht eingesetzt. Hohe Anschaffungskosten und fehlende Wiederverwendbarkeit (Einmalartikel) sind schwerwiegende Gegenargumente innerhalb eines insgesamt teuren Therapieverfahrens. Gegenüber dem TEE hat IVUS den Nachteil, dass das Kathetersystem vor der Endograft-Implantation entfernt werden muss und den Freisetzungsmoment nicht dokumentieren kann. Zudem erfordern beide Verfahren viel Erfahrung und eine entsprechende Expertise. Ihr Stellenwert in der endovaskulären Aortenchirurgie ist nicht gesichert.

Fazit für die Praxis

Die **B-Mode-Sonographie** wird im Rahmen des AAA-Screenings und der Nachsorge nach konventioneller infrarenaler Aortenchirurgie eingesetzt.

Die **TEE** ist bei klinischer Verfügbarkeit zur Diagnosesicherung der Aortendissektion und intraoperativen Navigation bei

der Platzierung thorakaler Endoprothesen sinnvoll und hilfreich.

Die DSA bleibt im Rahmen der präoperativen Diagnostik von Aortenerkrankungen nur noch Einzelfällen vorbehalten und wurde durch Schnittbildverfahren komplett ersetzt. Sie spielt jedoch bei der Diagnosesicherung und simultaner Therapie postoperativen Komplikationen nach der endovaskulären Aneurysm chirurgie (Endoleckagen) eine wichtige Rolle.

Die CTA ist aufgrund des technischen Fortschritts moderner Scanner, deren hoher Auflösung und Untersuchungsgeschwindigkeit und Verfügbarkeit in jeder Akutklinik zur Methode der ersten Wahl bei der Diagnostik von Aortenerkrankungen avanciert.

Konkurrenz stellt die MRA derzeit beim elektiven Patienten und unter Berücksichtigung der Kontraindikationen (Metallimplantate, Artefakte von Endoprothesen) eine gute Alternative dar. Insbesondere junge Menschen im Follow-up profitieren von der fehlenden Strahlenbelastung. Gadoliniumhaltige Kontrastmittel sind ebenfalls nephrotoxisch [29]. Patienten, die mit Endografts behandelt wurden, benötigen ein lebenslanges Follow-up, zu dem in erster Linie CTA und image postprocessing herangezogen werden.

Korrespondenzadresse

PD Dr. D. Böckler

Klinik für Gefäßchirurgie, Vaskuläre und Endovaskuläre Chirurgie, Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg, Im Neuenheimer Feld 110, 69120 Heidelberg dittmar.boeckler@med.uni-heidelberg.de

Interessenkonflikt. Der korrespondierende Autor gibt an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Literatur

1. Greenberg RK, Secor JL, Painter T (2004) Computed tomography assessment of thoracic aortic pathology. *Semin Vasc Surg* 17: 166–172
2. Janka R, Anders K, Uder M et al. (2007) Indikationswandel der klassischen Angiographie in der Chirurgie durch neue CT- und Kernspin-Methoden. *CHAZ* 6/7: 293–297
3. Lederle FA, Wilson SE, Johnson GR et al. (2002) Immediate repair compared with surveillance of small abdominal aortic aneurysms. *N Engl J Med* 346: 1437–1444
4. The United Kingdom Small Aneurysm Trial Participants (2002) Long-term outcomes of immediate repair compared with surveillance of small abdominal aortic aneurysms. *N Engl J Med* 346: 1445–1452
5. Scott RAP, Group AT (2002) The Multicentre Aneurysm Screening Study (MASS) into the effect of abdominal aortic aneurysm screening on mortality in men: a randomised controlled trial. *Lancet* 360: 1531–1539
6. Lederle F, Johnson G, Wilson S (2000) The Department of Veterans Affairs Aneurysm Detection and Management (ADAM) Study. *Arch Intern Med* 160: 1117–1121
7. Kent K, Zwolak R, Jaff M et al. (2004) Screening for abdominal aortic aneurysm: a consensus statement. *J Vasc Surg* 39: 267–269
8. Elkouri S, M J, Panneton et al. (2004) Computed tomography and ultrasound in follow-up of patients after endovascular repair of abdominal aortic aneurysm. *Ann Vasc Surg* 18: 271–279
9. Raman K, Missig-Carroll N, Richardson T et al. (2003) Color-flow duplex ultrasound scan versus computed tomographic scan in the surveillance of endovascular aneurysm repair. *J Vasc Surg* 38: 645–651
10. Bendick PJ, Zelenock GB, Bove PG et al. (2003) Duplex ultrasound imaging with an ultrasound contrast agent: economic alternative to CT angiography for aortic stent graft surveillance. *Vasc Endovasc Surg* 37: 165–170
11. Heilberger P, Schunn C, Ritter W et al. (1997) Postoperative color flow duplex scanning in aortic endografting. *J Endovasc Surg* 4: 262–271
12. Gahlen J, Hansmann J, Schumacher H et al. (2001) Carbon dioxide angiography for endovascular grafting in high-risk patients with infrarenal abdominal aortic aneurysms. *J Vasc Surg* 33: 646–649
13. Allenberg JR, Schumacher H, Eckstein HH, Kallinowski F (1996) Infrarenal abdominal aortic aneurysm: morphological classification as decision aid for therapeutic procedures. *Zentralbl Chir* 121: 721–726
14. Schumacher H, Allenberg JR, Eckstein HH (1996) Morphological classification of abdominal aortic aneurysm in selection of patients for endovascular grafting. *Br J Surg* 83: 949–950
15. White GH, Yu W, May J et al. (1997) Endoleaks as a complication of endoluminal grafting of abdominal aortic aneurysms: definition, incidence, diagnosis and management. *J Endovasc Surg* 4: 152–168
16. Schumacher H, Eckstein HH, Kallinowski F, Allenberg JR (1997) Morphometry and classification in abdominal aortic aneurysms: patient selection for endovascular and open surgery. *J Endovasc Surg* 4: 39–44
17. Schumacher H, Böckler D, Allenberg JR (2004) Surgical management of thoracic aortic lesions. Aneurysm, dissection and traumatic rupture. *Chirurg* 75: 937–958
18. Böckler D, Schumacher H, Klemm K et al. (2007) Hybrid procedures as a combined endovascular and open approach for pararenal and thoracoabdominal aortic pathologies. *Hybrid procedures as a combined endovascular and open approach for pararenal and thoracoabdominal aortic pathologies. Langenbecks Arch Surg* 26 [Epub ahead of print]
19. Wolf O, Böckler D, Heider P et al. (2007) Hybridverfahren zur Therapie thorakoabdominaler Aortenaneurysmen (TAAA) – erste Erfahrungen an einem Hochrisikokollektiv. *Gefässchirurgie* 12: online first
20. Hagan PG, Nienaber CA, Isselbacher EM et al. (2000) The International Registry of Acute Aortic Dissection (IRAD). *JAMA* 283: 897–903
21. Erbel R, Engberding R, Daniel W et al. (1989) Echocardiography in diagnosis of aortic dissection. *Lancet* 1: 457–461
22. Rocchi G, Lofiego C, Biagini E et al. (2004) Transesophageal echocardiography-guided algorithm for stent-graft implantation in aortic dissection. *J Vasc Surg* 40: 880–885
23. Böckler D, Schumacher H, Ganten M et al. (2006) Complications after endovascular repair of acute symptomatic and chronic expanding Stanford type B aortic dissections. *J Thorac Cardiovasc Surg* 132: 361–368
24. Nienaber CA, Kodolitsch Y, Nicolas V et al. (1993) The diagnosis of thoracic aortic dissection by noninvasive imaging procedures. *N Engl J Med* 328: 1–9
25. Schumacher H, Böckler D, von Tengg-Kobligk H, Allenberg JR (2006) Acute traumatic aortic tear: open versus stent-graft repair. *Semin Vasc Surg* 19: 48–59
26. Böckler D, Schumacher H, Lesczynski M et al. (2007) Endovaskuläre Therapie des traumatischen Aortenabisses. *Gefässchirurgie* 12: 139–149
27. Fearn S, Lawrence-Brown MMD, Semmens JB, Hartley D (2003) Follow-up after endovascular aortic aneurysm repair: the plain radiograph has an essential role in surveillance. *J Endovasc Ther* 10: 894–901
28. Böckler D, Allenberg JR, Kauczor HU, von Tengg-Kobligk H (2005) Images in vascular medicine. Postprocessing „fly-through“ of multislice computed tomography after thoracic endografting. *Vasc Med* 10: 61–62
29. Giersig C (2007) Nephrogene systemische Fibrose als unerwünschte Arzneimittelwirkung gadoliniumhaltiger Kontrastmittel für die Magnetresonanztomographie. *Radiologe* 47: 794–799